

ANALISIS KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN SUMBER AIR DI DESA SIDOMULYO

Water Supply and Demand Analysis at Sidomulyo Village

Indarto, Suhardjo Widodo, Ninin Ismulayati

Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan, FTP - UNEJ

E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

ABSTRACT

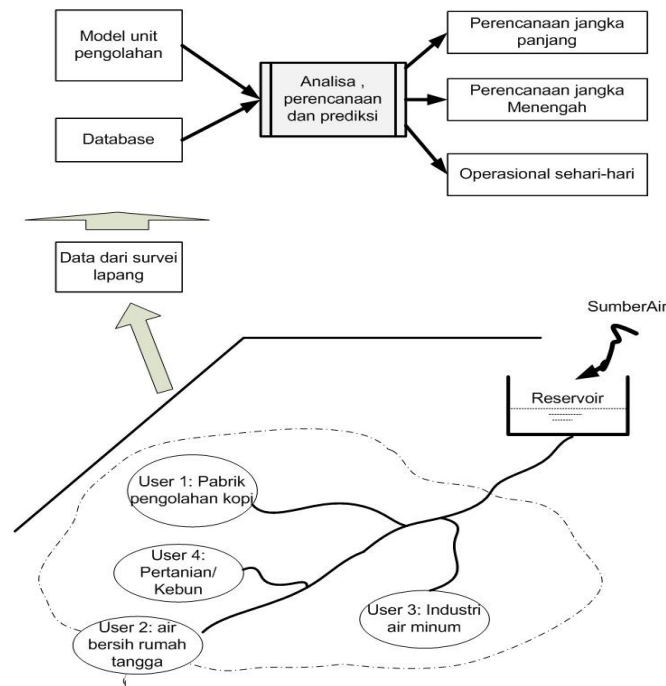
This article expose water demand and supply analysis for rural smallholders. The case study was done in Sidomulyo Village, Jember, East Java. Research methodology include : (1) data inventory, (2) water demand, (3) water supply, (4) water balance analysis, and (5) Optimisation using Linear Programming. Data was inventored by means of: land surveying, discharge measurement, water sampling, and questioner. Water supply was calculated by measuring discharge from the sources of water. Water demand was calculated by classifying user on three classes: (a) residential use, (b) poultry, and (c) coffee-processing-unit. Water balance was calculated by considering demand and supply. Result showed that water supply form discharge is sufficient as compared to total water demand of the Sidomulyo village. Analysis using Linear Programming show the optimal water can be used for coffee processing unit during the two seasons.

Keywords: *Water Supply, Water demand, Water Balance, Linear Programing, Smallholder village.*

PENDAHULUAN

Desa Sidomulyo merupakan salah satu desa penghasil kopi rakyat di Kabupaten Jember. Upaya peningkatan mutu kopi di desa tersebut perlu dilakukan melalui penerapan inovasi teknologi yaitu penanganan pasca panen kopi melalui proses semi basah (*semi wet process*). Kendala yang dihadapi petani dalam menerapkan proses-semi-basah adalah penggunaan air yang lebih banyak, petani kopi akan mengalami kesulitan apabila daerah tersebut tidak memiliki ketersediaan sumberdaya air yang memadai. Hal lain yang perlu

dipertimbangkan adalah kontinuitas pasokan air karena air mempunyai sifat yang spesifik dimana keberadaannya yang dinamis dan selalu berubah – ubah menurut waktu dan ruang. Pada musim kemarau keberadaan sumberdaya air semakin langka dan terbatas, menyebabkan pemanfaatannya semakin kompetitif. Disamping itu, dengan berkembangnya berbagai aspek kehidupan di Desa Sidomulyo sebagai dampak dari pertumbuhan penduduk dan pembangunan akan mengakibatkan semakin tingginya potensi pemanfaatan air untuk berbagai keperluan, seperti: air baku untuk rumah tangga, irigasi, kelistrikan dan sebagainya



Gambar 1. Konsep sistem distribusi air di Sidomulyo

Gambar (1) atas memperlihatkan diagram sederhana proses perencanaan dan rencana pemanfaatan sumberdaya air yang dapat diterapkan untuk lingkungan pedesaan (Sidomulyo).

Gambar (1) bagian bawah, mengilustrasikan kondisi pemanfaatan dan rencana pemanfaatan sumber air di lingkungan sekitar Desa. Kondisi yang ada saat ini, sumber air berasal mata air pegunungan yang berada disekitar Garahan. Air selanjutnya mengalir melalui anak sungai yang mengalir di atas wilayah Sidomulyo. Sumber air tersebut oleh masyarakat dialirkan ke dekat wilayah Desa Sidomulyo, menggunakan pipa dan ditampung dalam suatu reservoir (Bak penampung). Dari resevoir air dilairkan melalui pipa ke: (1) sebagian perumahan warga, (2) unit pengolahan kopi, dan (3) dimanfaatkan untuk kegiatan lain. Karena air yang mengalir dari mata air tersebut masih relatif jernih dan kualitas bagus, pada masa yang akan datang, air tersebut kemungkinan akan dikerjasamakan dengan investor untuk dipasarkan dalam bentuk air minum dalam kemasan. Hal

ini membutuhkan kajian lebih lanjut aspek positif dan negatif bagi masyarakat sekitar dan keberlanjutan sumber air tersebut.

Gambar (1) bagian atas, mengilustrasikan rencana pengembangan dan pemanfaatan sumberdaya air tersebut. Kondisi sumber air permukaan yang ada akan disurvei melalui penelitian ini. Data yang dibutuhkan mencakup: data kependudukan, data kewilayahan (topografi, peruntukan lahan, tanah, dll), data admkinistrasi kewilayahan, jaringan distribusi air yang ada, potensi pengguna selain rumah tangga, dll).

Bertitik tolak dari permasalahan yang ada, maka diperlukan kajian mengenai potensi ketersediaan air dan optimalisasi pemanfaatannya guna menyokong aktivitas masyarakat Desa. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menginventarisasi potensi sumberdaya air permukaan yang dapat dimanfaatkan penduduk Desa Sidomulyo; (2) menghitung kebutuhan air di Desa Sidomulyo; (3) memperkirakan dan mengukur potensi sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung unti

pengolahan kopi ; (4) menganalisa ketersediaan dan kebutuhan air dalam bentuk neraca air bulanan; dan (5) optimalisasi menggunakan Program Linear.

Linear programming mencakup perencanaan kegiatan untuk memperoleh hasil optimal yang memberikan nilai tujuan terbaik. Model *linear programming* memiliki tiga unsur penting yang harus dirumuskan yaitu:

1. Fungsi tujuan menggambarkan tujuan atau sasaran di dalam program linear yang terkait dengan pengaturan secara optimal sumberdaya yang tersedia untuk memperoleh keuntungan maksimum maupun alternatif – alternatif proposi pemanfaatan sumberdaya yang tersedia.
2. Fungsi kendala merupakan bentuk penyajian secara matematika batasan –batasan yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal.
3. Variabel keputusan merupakan variabel yang dicari dan memberikan nilai paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai (Mahmud, 2009).

Program linear disusun menggunakan metode sistematis, mulai dari tahap pengumpulan data, identifikasi permasalahan, menyusun model dan menganalisisnya. Program linear harus memperhatikan persyaratan-persyaratannya, antara lain: (i) sumberdaya harus dalam persediaan terbatas, (ii) fungsi tujuannya harus jelas dan tepat, (iii) fungsi tujuan dan kendala harus dinyatakan secara matematik, dan (iv) variabelnya harus berhubungan antara satu dengan yang lainnya (Nasendi dan Anwar, 2004).

Linear programming merupakan suatu teknik yang didasarkan pada proses aljabar matrik yang dapat digunakan untuk memecahkan solusi optimal dari suatu aktivitas-aktivitas dengan keterbatasan sumberdaya. Program linear banyak diterapkan dalam masalah ekonomi, industri, militer, sosial,

sumberdaya air, dan lain-lain. Program linear berkaitan dengan penjelasan suatu kasus dalam dunia nyata dengan menggunakan model matematik yang terdiri dari sebuah fungsi linier dengan beberapa kendala linear. Bentuk umum program linear sebagai berikut :

1. Fungsi tujuan : maksimumkan atau minimkan $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$
2. Fungsi Sumberdaya yang membatasi :

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = / \leq / \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = / \leq / \geq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = / \leq / \geq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Simbol x_1, x_2, \dots, x_n (x_i) menunjukkan variabel keputusan. Jumlah variabel keputusan (x_i) tergantung dari jumlah kegiatan atau aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan. Simbol c_1, c_2, \dots, c_n merupakan kontribusi masing – masing variabel keputusan terhadap tujuan, disebut juga koefisien fungsi tujuan pada model matematikanya. Simbol $a_{11}, a_{1n}, \dots, a_{mn}$ merupakan penggunaan per unit variabel keputusan akan sumber daya yang membatasi, atau disebut juga sebagai koefisien fungsi kendala pada model matematikanya. Simbol b_1, b_2, \dots, b_m menunjukkan jumlah masing – masing sumberdaya yang ada. Jumlah fungsi kendala akan tergantung dari banyaknya sumberdaya yang terbatas.

Pertidaksamaan terakhir ($x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$) menunjukkan batasan non-negatif. Penyusunan model matematik dari suatu permasalahan tidak hanya menuntut kemampuan matematik tapi juga menuntut seni pemodelan . Menggunakan seni akan membuat pemodelan lebih mudah dan menarik (Siringiringo, 2005).

Diharapkan dengan adanya kajian ini dapat diperoleh data dan informasi tentang kondisi sumberdaya air dan selanjutnya informasi tersebut dapat dijadikan sebagai bahan perencanaan dan pengelolaan sumber air saat ini dan di masa yang akan datang.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Metode penelitian mencakup: (1) inventarisasi data, (2) perhitungan kebutuhan air, (3) perhitungan ketersediaan air, (4) analisa neraca air bulanan, dan (5) Optimalisasi menggunakan linear programming. Inventarisasi data dilakukan melalui: pemetaan wilayah, wawancara, pengukuran debit, pengambilan sampel air dan data statistik. Perhitungan ketersediaan, kebutuhan air dan analisis neraca air dilakukan dengan perangkat lunak EXCEL. Selanjutnya analisa Linear programming dilakukan menggunakan suatu model matematika linear dan diselesaikan menggunakan perangkat lunak QPOM for Windows (Wijayanto, 2007; Yuwono, 2007).

Rancangan Percobaan

Potensi ketersediaan air diperkirakan dengan mengukur dan menghitung debit pada tiga (3) sumber air permukaan yang ada di wilayah Hulu dari Desa Sidomulyo. Kebutuhan air didekati dengan mengklasifikasikan tiga jenis pemakai air, yaitu: (a) sektor rumah tangga, (b) ternak, dan (c) unit pengolahan kopi.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian mencakup: (1) Data debit dari sumber mata air; (2) data kependudukan dari kantor kelurahan, (3) data terkait dengan unit pengolahan kopi, (4) peta tematik tentang Desa Sidomulyo. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut

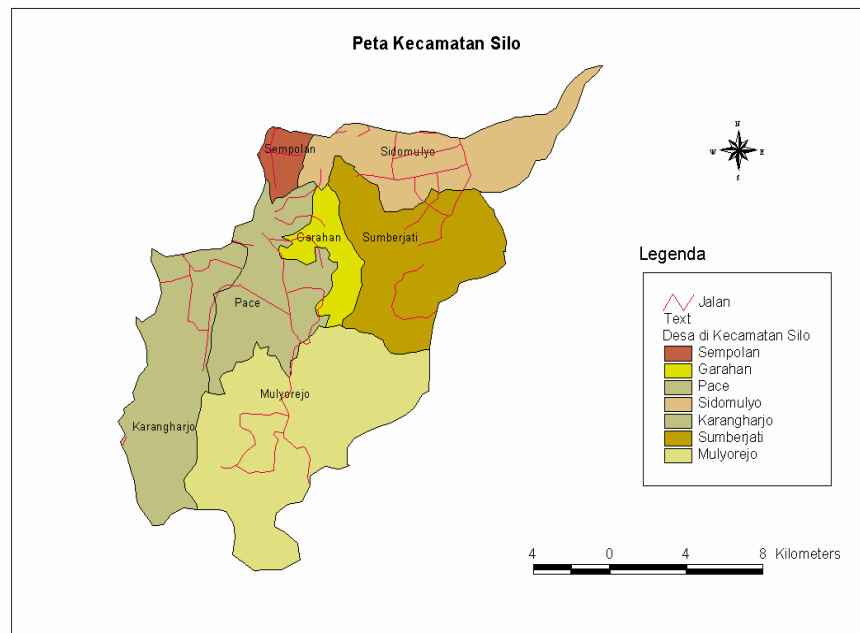
Tabel 1. Nama alat yang digunakan dan fungsinya

No.	Nama alat	Fungsi
1.	Current meter	- Mengukur kecepatan aliran air.
2.	Penggaris	- Mengukur kedalaman saluran air.
3.	Roll meter	- Mengukur lebar penampang saluran air.
4.	Gelas ukur	- Mengukur volume air.
5.	Timba/Ember	- Menampung air.
6.	Stopwatch	- Mengukur waktu.
7.	GPS	- Memetakan lokasi penelitian.
8.	Software GIS (Arcview / ArcGIS)	- Mengolah data hasil pemetaan dengan GPS
9.	Software linear programming QM for Windows	- Menyelesaikan model optimalisasi pemanfaatan sumberdaya air.
	Software Microsof Visio 2007	- Menggambarkan profil sungai

Lokasi & Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Sidomulyo, kecamatan SILO, Kabupaten Jember **Gambar 1**. Secara Administratif, Desa Sidomulyo terletak pada bagian hulu Kecamatan Silo, dengan batas-batas wilayah sebagaimana termuat pada

Gambar 1. Desa Sidomulyo memiliki 6 dusun yaitu: (1) Krajan, (2) Tanah Manis, (3) Sidodadi, (4) Curah Damar, (5) Garahan Kidul dan (6) Gunung Gunitir. Jumlah Rukun Warga (RW) = 25 dan Rukun Tetangga (RT) = 61, Jumlah penduduk = 2950 orang.



Gambar 1. Lokasi desa Sidomulyo

Penelitian dilakukan dari bulan Mei 2011 sd Desember 2011. Survei lapang, pengukuran debit air dan pengambilan sampel air dilakukan selama bulan Agustus sd Oktober 2011.

Metode Analisis

Tahap penelitian mencakup: (1) Inventarisasi data, (2) perhitungan kebutuhan air, (3) perkiraan ketersediaan air, (4) Analisa Neraca Air, dan (5) analisis program linear.

Inventarisasi data

Inventarisasi data dilakukan melalui: pemetaan wilayah Desa Sidomulyo, pengukuran debit air, pengambilan sampel kualitas air, wawancara dengan penduduk dan data statistik.

Pemetaan

Pemetaan wilayah dilakukan dengan menggunakan *Theodolit*, *Waterpass* dan

GPS (Global Positioning System) dan bertujuan untuk: (1) menggambarkan detail jaringan distribusi air di Desa Sidomulyo, (2) memetakan lokasi sumber air dan jaringan pipa primer. Jaringan pipa primer menyalurkan air dari sumber air ke reservoir utama. Hasil pengukuran dari lapangan selanjutnya diolah dan divisualisasikan dengan *Software GIS (Arcview/ArcGIS)*.

Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan pada empat lokasi, yaitu: Sumber Mis, Terjunan, Kalipitu dan Reservoir. Pada ke tiga sumber air, pengukuran debit dilakukan dengan menggunakan *current meter*. **Gambar 2** menampilkan metode pengukuran debit pada lokasi Terjunan



(a) penampang saluran



(b) menentukan luas penampang basah



(a) Mengukur kecepatan aliran (titik 1)



(b) Mengukur kecepatan aliran (titik 2)

Gambar 2. Pengukuran debit pada lokasi sumber terjunan

Keterangan:

(a) Pemilihan profil saluran air yang akan diukur ; (b) mengukur lebar penampang basah dan tinggi muka air ; (c) mengukur kecepatan aliran pada titik (1) ; (d) mengukur kecepatan pada titik (2).

Pengukuran debit menggunakan *current meter* pada prinsipnya adalah mengukur kecepatan aliran dan luas penampang basah saluran (bagian sungai) yang dilalui aliran. Dalam hal ini, kecepatan diukur menggunakan baling-baling dari *current meter* yang berputar mengikuti kecepatan air. Luas penampang basah diukur secara manual menggunakan penggaris (meteran). Pendekatan untuk perhitungan “Luas penampang basah” pada masing-masing lokasi pengukuran disesuaikan dengan bentuk profil saluran (Rahayu dkk, 2009).

Pengambilan sampel air

Pengukuran kualitas air dilakukan dengan mengambil sampel air di lokasi sumber air (Terjunan, Sumber Mis, Kalipitu), di Reservoir, di Kran Air, dan di Sumur penduduk. Cara pengambilan sampel air di ketiga sumber air dan reservoir diberikan dalam **Gambar 3**. Sampel air diambil dalam botol tertutup dan diupayakan botol dalam keadaan tenggelam untuk mengurangi udara masuk ke dalam botol. Botol air selanjutnya langsung dibawa ke Laboratorium untuk dianalisa (Anonim, 2001; Anonim, 2010).



Gambar 3. Pengambilan air untuk pengukuran kualitas air

Perhitungan kebutuhan air

Air dari berbagai sumber air yang ada di wilayah Hulu dari Sidomulyo, selanjutnya ditampung di dalam Reservoir. Air dari reservoir dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Ada tiga penggunaan air yang cukup signifikan dari aspek jumlah yaitu : (1) suplai air untuk olah-semi-basah (*semi-wet process*) di Pabrik Pengolahan Kopi, (2) Suplai air untuk keperluan sehari hari (mandi, mencuci, dll), (3) air untuk keperluan ternak. Selanjutnya, perhitungan kebutuhan air dilakukan dengan mempertimbangkan ke tiga aspek pemanfaatan air tersebut. Satuan waktu terkecil untuk perhitungan diasumsikan (1) hari.

Perkiraan ketersediaan air

Air dari Sumber Air yang ada di wilayah Hulu dari Sidomulyo (yang meliputi: Sumber Mis, Sumber Terjunan dan Sumber Kalipitu), dialirkan melalui jaringan-pipa-primer secara gravitasi dan selanjutnya ditampung di dalam Reservoir.

Analisis neraca air

Kebutuhan dan ketersediaan air selanjutnya dibandingkan dalam suatu Neraca Air Bulanan, untuk meneilai tingkat kecukupan penyediaan air bagi aktivitas penduduk desa tersebut.

Program linear

Model matematik linear digunakan untuk optimalisasi ketersediaan dan pemanfaatan

sumberdaya air tersebut. Analisis menggunakan LP lebih difokuskan untuk memaksimalkan jumlah air yang dapat digunakan untuk unit pengolahan kopi. Linear programming disusun dengan membedakan antara musim kemarau dan musim penghujan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Inventarisasi Data

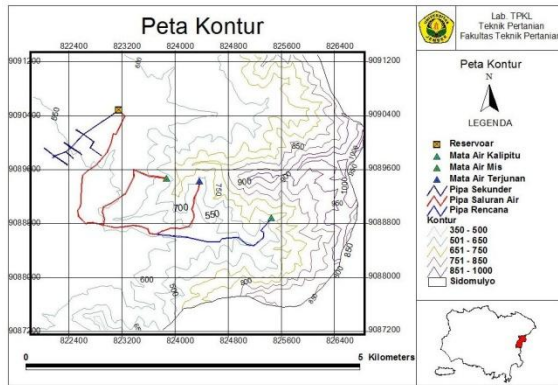
Inventarisasi data dilakukan melalui: pemetaan wilayah Desa Sidomulyo, pengukuran debit air, pengambilan sampel kualitas air, wawancara dengan penduduk dan data statistik.

Pemetaan potensi desa

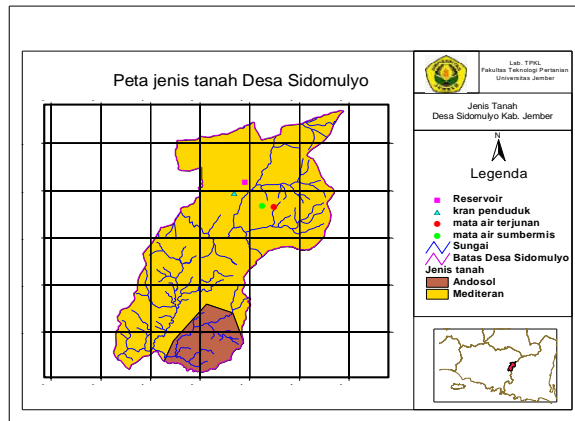
Pemetaan menghasilkan peta-peta tematik, misalnya: Kontur, Jaringan distribusi air, Jaringan jalan, Peruntukan lahan, Jenis tanah dan informasi lain yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan di Desa Sidomulyo.

Karakteristik topografi

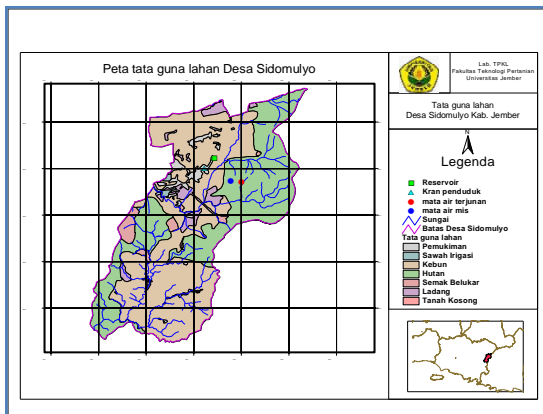
Secara Topografi, Sidomulyo dikelilingi oleh pegunungan atau perbukitan, diantaranya: Pegunungan Argopuro di sebelah Utara, Pegunungan Pace atau Sanen di sebelah Selatan dan Gunung Gunitir di sebelah Timur. Wilayah Desa merupakan datar, yang berada di bawah dan dikelilingi oleh lereng-lereng pegunungan. Ketinggian tempat berkisar antara 300m sd 1000m di atas permukaan laut (**Gambar 4.a**).



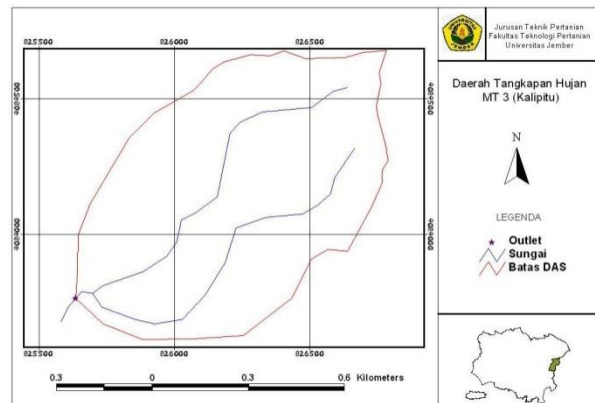
(a) Peta topografi



(b) Peta jenis tanah



(c) Peta peruntukan lahan



(d) Peta daerah Tangkapan Hujan untuk sumber mata air Kalipitu

Gambar 4. Hasil pemetaan di wilayah Desa Sidomulyo

Wilayah datar dengan ketinggian antara: 500 sd 550m merupakan wilayah pemukiman dan sebagian kecil kebun kopi. Wilayah dengan ketinggian lebih dari 600 m merupakan perbukitan yang mayoritas berupa hutan lindung dan kebun kopi (**Gambar 4.a**). Daerah perbukitan tersebut menyimpan banyak sumber mata air. Tiga diantara sumber mata air yang telah disurvei yaitu mata air: Sumber Mis, Terjunan, dan Kalipitu. Dua mata air (sumber Mis dan Terjunan) sudah dimanfaatkan oleh penduduk setempat sebagai sumber air bersih. Jumlah dan kualitas air dari sumber mata air Kalipitu relatif lebih baik dari ke dua mata air sebelumnya, karena lokasi-nya yang lebih hulu dan lebih natural.

Karakteristik tanah

Secara umum, ada dua macam Jenis tanah di desa Sidomulyo yaitu: *mediteran* dan *Andosol*. Sebagian besar wilayah Sidomulyo didominasi oleh tanah *Mediteran* (> 75%), sidanya *Andosol* (**Gambar 4.b**).

Peruntukan lahan

Luas wilayah Sidomulyo = $\pm 5.145,57$ hektar. Wilayah desa sebagian besar merupakan areal perkebunan dan hutan. Sedangkan selebihnya terdiri dari: pemukiman, pertanian sawah, ladang atau tegalan, sarana rekreasi dan olahraga serta lainnya (**Gambar 4.c**).

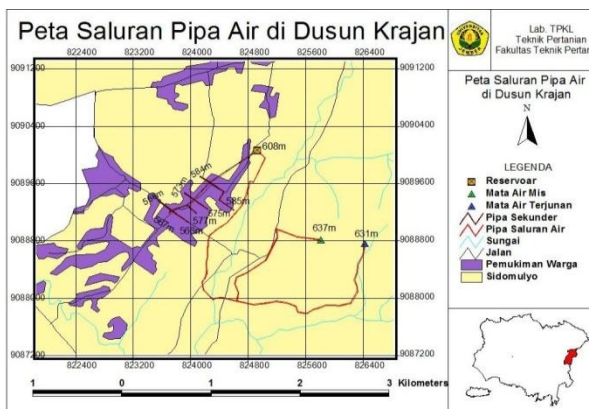
Daerah tangkapan hujan

Curah hujan di Desa Sidomulyo rata-rata sebesar ± 2000 mm/tahun. Suhu rata-rata di Desa Sidomulyo adalah $\pm 21^\circ\text{C}$ dan dengan kelembaban udara mencapai 75-90%. Daerah tangkapan air diukur dari titik pengukuran debit di Kalipitu. Selanjutnya, batas Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*) di gambar secara manual, mulai dari titik pengukuran debit tersebut ke arah hulu dan kembali ke titik semula. Penentuan batas DAS memperhatikan arah aliran air, peta kontur dan Jaringan sungai yang ada. Hasil pengukuran menghasilkan Luas *Catchment Area* = $0,99 \text{ km}^2$. Selanjutnya, luas catchment area dapat digunakan untuk perkiraan volume air yang dapat ditampung oleh Bendung (**Gambar 4.d**).

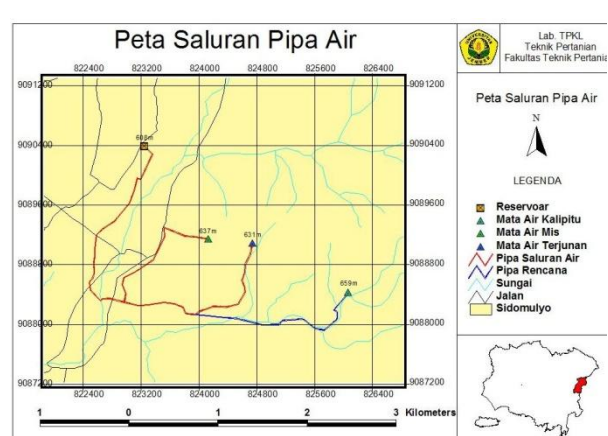
Pemetaan jaringan distribusi air

Gambar 5.a menampilkan lokasi sumber mata air yang dimanfaatkan oleh penduduk dusun krajan, reservoir untuk penampungan air, jaringan pipa untuk distribusi air dan lokasi perumahan penduduk. Sebagian besar penduduk desa menggunakan Sumur. Kedalaman muka air tanah di dalam Sumur dapat

mencapai -30 meter (di bawah permukaan tanah). Sumur difungsikan sebagai sumber air minum. Disamping itu penduduk desa juga memanfaatkan air yang berasal dari beberapa mata air dari wilayah pegunungan. Saat ini, penduduk desa memanfaatkan dua sumber mata air, yaitu: (1) mata air Sumber Mis, dan (2) Mata air Terjunan. Debit dari ke dua sumber air tersebut, selanjutnya dialirkan melalui jaringan pipa secara gravitasi ke wilayah pemukiman di bagian hilir. Penyaluran dilakukan dengan menggunakan jaringan-pipa-saluran-air berdiameter antara 2 sd 3 Inchi. Makin ke hilir diameter pipa semakin kecil. Sebelum sampai ke rumah-rumah penduduk air tersebut di tampung di dalam suatu bak penampungan (*reservoir*). Panjang jaringan pipa dari sumber air sampai ke reservoir lebih dari 5000m. Selanjutnya, dari *reservoir* air dialirkan melalui jaringan pipa-sekunder ke blok-blok. Satu blok merupakan kumpulan dari beberapa rumah penduduk yang berdekatan. Penyaluran dari Blok sampai ke rumah warga menggunakan PVC atau selang plastik berdiameter sekitar 1"



(a) Kondisi aktual



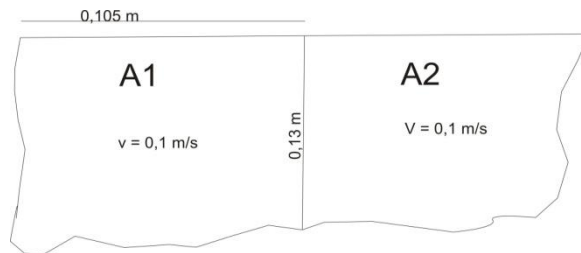
(b) Rencana pengembangan

Gambar 5. Peta sumber dan jaringan distribusi air.

Gambar (5b) memperlihatkan lokasi tiga (3) sumber mata air di wilayah hulu dari Sidomulyo, yaitu: (1) Sumber Mis, (2) Terjunan dan (3) Kalipitu. Posisi relatif ke tiga sumber air tersebut terhadap reservoir juga diberikan di dalam Gambar (5b). Ke tiga (3) sumber air

tersebut berada pada posisi yang lebih tinggi (lebih hulu) dari reservoir, sehingga memungkinkan aliran air (distribusi air) melalui gaya gravitasi. Penduduk sudah mengenal dan sudah memanfaatkan sistem distribusi air berdasarkan gravitasi.

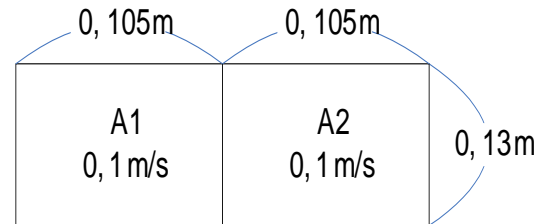
Sumber air Kalipitu, pernah dibendung dengan membuat bangunan penangkap air sederhana di atas-nya. Pada tahun 2010, Bendung tersebut jebol karena hujan yang sangat deras membawa arus air di sungai yang melebihi kekuatan Bendung. Perencanaan ke depan, sumber mata air ini akan dimanfaatkan lagi dengan terlebih dahulu membuat Bangunan untuk penangkap air (Bendung).



(a) Profil saluran yang sebenarnya

Perhitungan debit air

Sebagai Contoh, perhitungan debit air untuk sumber terjunan dilakukan dengan pendekatan (**Gambar 6**), sebagai berikut : (a) profil penampang saluran yang sebenarnya dapat diasumsikan mendekati dua bujur sangkar yang bersebelahan, (b) masing-masing titik pengukuran diasumsikan mewakili kondisi aliran pada tiap luas penampang bujur sangkar.



(b) Pendekatan matematis

Gambar 6. Pendekatan untuk penentuan luas penampang basah (lokasi: terjunan).

Sehingga perhitungan debitnya adalah:

$$Q = v_r(\sum A_i) \dots\dots (pers 1)$$

dimana :

Q = debit total ; v_i = kecepatan pada penampang ke (i) ; A_i = luas penampang ke (i); v_r = Kecepatan rerata.

$$V_r = (v_1 + v_2)/2 = (0,1 \text{ m/s} + 0,1)/2 = 0,1 \text{ m/s}$$

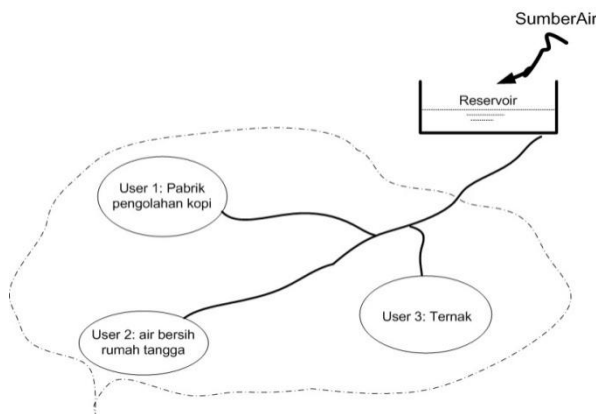
$$\begin{aligned} \sum A_i &= (A_1 + A_2) \\ &= (0,105 * 0,13) + (0,105 * 0,13) \\ &= (0,01365 + 0,01365) \text{ m}^2 \\ &= (0,0273) \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= V_r * \sum A_i = 0,1 \text{ m/s} * 0,0273 \text{ m}^2 \\ &= 0,00273 \text{ m}^3/\text{s} = 2,73 \text{ l/s} \\ &= 235872 \text{ liter/hari} = 235,87 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh besarnya debit di Sumber Terjunan = 235,87 (m^3/hari). Perhitungan untuk sumber air lainnya, mengikuti profil atau penampang saluran yang diukur pada masing-masing lokasi.

Kebutuhan air

Air dari berbagai sumber air yang ada di wilayah Hulu dari Sidomulyo, selanjutnya ditampung di dalam *Reservoir*. Air dari *reservoir* dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Ada tiga penggunaan air yang cukup signifikan dari aspek jumlah yaitu : (1) suplai air untuk olah-semi-basah (*semi-wet process*) di Pabrik Pengolahan Kopi, (2) Supai air untuk keperluan sehari hari (mandi, mencuci, dll), (3) air untuk keperluan ternak (**Gambar 7**).



Gambar 7. Skema pemanfaatan air yang keluar dari reservoir

Selanjutnya, perhitungan kebutuhan air dilakukan dengan mempertimbangkan ke tiga aspek pemanfaatan air tersebut. Satuan waktu terkecil untuk perhitungan diasumsikan (1) hari.

Unit pengolahan kopi

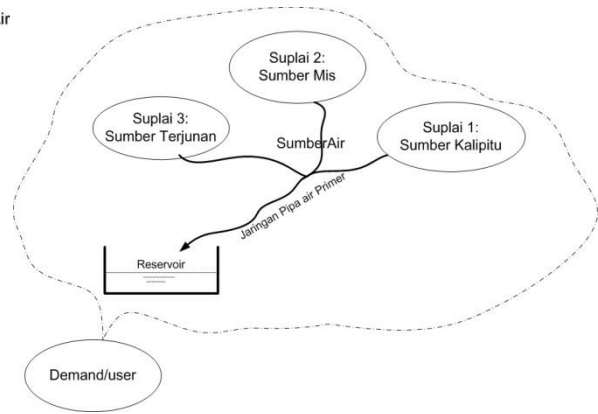
Jumlah kebutuhan air untuk pabrik pengolahan kopi dalam (m^3/hari), dihitung sbb: Kapasitas Pabrik, diasumsikan = ~ 50 ton/bulan. Jika diasumsikan waktu kerja efektif dalam 1 bulan adalah 25 hari, maka kapasitas pabrik per hari = $\sim 50/25 = 2$ ton/hari = 2000 kg/hari. Satu (1) ton kopi basah yang diolah dengan *semi-wet-process* membutuhkan air sebanyak = ~ 6700 liter. Sehingga kebutuhan air untuk pengolahan = $2 \text{ ton/hari} \times 6700 \text{ liter} = 13400 \text{ liter/hari} = 13,4 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Rumah tangga

Jumlah kebutuhan air untuk keperluan harian keluarga di desa (m^3/hari), dihitung sbb: standar konsumsi air per orang per hari = ~ 60 liter (Sumber: Effendi, 2003), jumlah penduduk Dusun Krajan = 2675 orang. Sehingga kebutuhan air = $(60 \text{ liter/hari}) \times 2675 = 160500 \text{ liter/hari} = 160,5 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Kebutuhan air untuk ternak

Jumlah kebutuhan air untuk ternak (m^3/hari), dihitung sbb:



Gambar 8. Sistem suplai air untuk Desa Sidomulyo

Asumsi: tiap 1 keluarga (KK) memiliki 1 ekor sapi dan 3 ekor kambing

Jumlah kepala keluarga (KK) = 758 orang

Jumlah kepemilikan sapi = $758 \text{ KK} \times 1 \text{ ekor} = 758 \text{ ekor}$

Kebutuhan air minum untuk satu ekor sapi

= 40 liter/hari

= $40 \text{ liter} \times 758 \text{ ekor}$

= 30320 liter/hari

Jumlah kepemilikan kambing = $3 \times 758 \text{ ekor} = 2274 \text{ ekor}$

Kebutuhan air minum untuk 1 ekor kambing = 2,5 liter/hari, sehingga:

= $2,5 \text{ liter} \times 2274$

= 56850 liter/ hari

Total kebutuhan air ternak = $56,8 \text{ m}^3/\text{hari}$

Selanjutnya, dari hasil analisa dan perhitungan di atas, perkiraan kebutuhan air per hari (secara kasar) dari ke tiga user tersebut adalah sebagai berikut.

$$D_{\text{Tot}} = \sum D_{\text{user-}i} = D_1 + D_2 + D_3$$

$$= [13,4 + 160,5 + 56,8]$$

$$= 230,7 \text{ m}^3/\text{hari}.$$

Perhitungan ini didasarkan asumsi bahwa Pabrik Pengolahan Kopi beroperasi tiap hari dengan kapasitas pengolahan 2 ton /hari. Pada kenyataannya tidak demikian, karena musim panen kopi hanya 4 bulan. Sehingga, analisa lebih lanjut diperlukan untuk memperkirakan kebutuhan dan alokasi air yang riil ke unit pengolahan.

Ketersediaan air

Air dari Tiga Sumber Air yang ada di wilayah Hulu dari Sidomulyo (yang meliputi: Sumber Mis, Sumber Terjunan dan Sumber Kalipitu), dialirkan melalui jaringan-pipa-primer secara gravitasi dan selanjutnya ditampung di dalam *Reservoir*. Secara skematis sistem suplai air diilustrasikan dalam **Gambar 8**. Dari *Reservoir* air tersebut dialirkan melalui jaringan-pipa-sekunder sampai ke user (**Gambar 7**).

Perkiraan jumlah debit untuk suplai air pada musim Kemarau, berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan adalah sebagai berikut.

$$S_1 = \text{Suplai dari Sumber Air Terjunan} \\ = 235,87 \text{ (m}^3/\text{hari)}.$$

$$S_2 = \text{Suplai dari Sumber Mis} \\ = 50,98 \text{ (m}^3/\text{hari)}.$$

$$S_3 = \text{Suplai dari Sumber Kalipitu} \\ = 1041,98 \text{ (m}^3/\text{hari)}.$$

$$\text{Total Suplai Air musim kemarau} = S_{\text{Tot}} \\ = \sum S_i = [S_1 + S_2 + S_3] \\ = [235,87 + 50,98 + 1041,98] \\ = 1328,83 \text{ (m}^3/\text{hari)}.$$

Suplai air total tersebut menggambarkan ketersediaan debit minimum pada musim Kemarau. Debit untuk musim penghujan dapat diperkirakan dari rumus yang sama tetapi dengan mengganti pengukuran pada musim penghujan.

$$\text{Total debit musim Penghujan } S_{\text{Tot}} = \sum S_i = [S_1 + S_2 + S_3] \\ = [235,87 + 50,98 + 6048] \\ = 6334,85 \text{ (m}^3/\text{hari)}.$$

Debit tersebut merupakan debit minimum musim penghujan, karena hanya menggunakan pengukuran musim hujan pada sumber Kalipitu, perhitungan pada sumber lain menggunakan data yang sama dengan musim kemarau.

Neraca air bulanan

Pada kenyataannya Unit Pengolahan Kopi (UPK) yang ada tidak beroperasi setiap hari. UKP tersebut hanya beroperasi pada saat musim panen raya kopi, yang umumnya terjadi dari bulan Juli sd Oktober. Neraca Air Bulanan untuk perkiraan

kebutuhan dan ketersediaan air, diilustrasikan sebagai berikut.

Kebutuhan air per bulan

$$\text{User 1 (untuk Unit Pengolahan Kopi)} = \\ (50 \text{ ton/bl}) * (6700 \text{ liter/ton}) \\ = 335000 \text{ liter/bulan} = 335 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

$$\text{User 2 (untuk Keperluan sehari-hari)} = \\ (\text{Total kebutuhan per hari}) * (30 \text{ hari/bulan}) \\ = (160,5 \text{ m}^3/\text{hari}) * (30 \text{ hari/bulan}) \\ = 4815 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

$$\text{User 3 (untuk ternak)} = (\text{Total kebutuhan per hari}) * 30 \text{ hari/bulan} \\ = (56,8 \text{ m}^3/\text{hari}) * (30 \text{ hari/bulan}) \\ = 1704 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

$$\text{Total kebutuhan air per bulan (kumulatif tiga user utama):} \\ = (335 + 4815 + 1704) = 6854 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

Ketersediaan air per bulan

Musim kemarau

Total Debit Air Musim Kemarau :
Jika menggunakan dua sumber air (Terjunan dan Mis), adalah:

$$S_{\text{Tot}} = \sum S_i = [S_1 + S_2] = [235,87 + 50,98] \\ = 286,85 \text{ (m}^3/\text{hari)} \\ = 286,85 \text{ (m}^3/\text{hari}) * 30 \text{ hari/bulan} \\ = 8065,5 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

Jika menggunakan ke tiga sumber air yang ada (Terjunan, Mis dan Kalipitu), adalah:

$$S_{\text{Tot}} = \sum S_i = [S_1 + S_2 + S_3] \\ = [235,87 + 50,98 + 1041,98] \\ = 1328,83 \text{ (m}^3/\text{hari)} \\ = 1328,83 \text{ (m}^3/\text{hari}) * (30 \text{ hari/bulan}) \\ = 39864,9 \text{ (m}^3/\text{bulan)}.$$

Musim penghujan

Total Debit Air Musim Penghujan :
Jika menggunakan dua sumber air (Terjunan dan Mis), adalah:

$$S_{\text{Tot}} = \sum S_i = [S_1 + S_2] = [235,87 + 50,98] \\ = 286,85 \text{ (m}^3/\text{hari)} \\ = 286,85 \text{ (m}^3/\text{hari}) * 30 \text{ hari/bulan} \\ = 8065,5 \text{ m}^3/\text{bulan}.$$

Jika menggunakan ke tiga sumber air yang ada (Terjunan, Mis dan Kalipitu), adalah:

$$S_{\text{Tot}} = \sum S_i = [S_1 + S_2 + S_3]$$

$$\begin{aligned}
 &= [235,87 + 50,98 + 6048] \\
 &= 6334,85 \text{ (m}^3\text{/hari).} \\
 &= 6334,85 \text{ (m}^3\text{/hari)} \times (30 \text{ hari/bulan}) \\
 &= 190045,5 \text{ (m}^3\text{/bulan).}
 \end{aligned}$$

dimana penduduk hanya menggunakan dua sumber air (Sumber Terjunan dan Sumber Mis). **Tabel 3.1** dihitung dengan pertimbangan debit air tersedia yang minimal pada ke dua sumber air tersebut, hal ini sesuai dengan hasil pengukuran pada bulan Agustus dan September.

Neraca air bulanan (aktual)

Tabel 3.1 merangkumkan neraca air bulanan untuk kondisi aktual (saat ini),

Tabel 3. Perkiraan neraca air bulanan (kondisi aktual dengan suplai air minimal)

Bulan	Total Kebutuhan Air (m ³ /bln)	Kebutuhan Air (m ³ /bulan)			Total Suplai Air (m ³ /bln)
		UPK	Rumah Tangga	Ternak	
Januari	6519	0	4815	1704	8065,5
Februari	6519	0	4815	1704	8065,5
Maret	6519	0	4815	1704	8065,5
April	6519	0	4815	1704	8065,5
Mei	6519	0	4815	1704	8065,5
Juni	6519	0	4815	1704	8065,5
Juli	6854	335	4815	1704	8065,5
Agustus	6854	335	4815	1704	8065,5
September	6854	335	4815	1704	8065,5
Oktober	6854	335	4815	1704	8065,5
November	6519	0	4815	1704	8065,5
Desember	6519	0	4815	1704	8065,5

Terlihat bahwa dengan kondisi debit minimal yang tersedia pada musim kemarau, masih dapat mencukupi kebutuhan air untuk ke tiga user. Namun kondisi tersebut sangat minimal dan terlalu beresiko. Jika jumlah kopi yang dioleha dengan *semi-wet-process* meningkat, maka debit yang tersedia tidak mencukupi.

Neraca air bulanan (Ideal)

Kondisi yang ideal adalah jika ke tiga sumber air yang ada (Sumber Terjunan, Sumber Mis, dan Kalipitu) dieksploitasi semua. Perkiraan jumlah debit yang tersedia tiap bulannya diberikan pada **Tabel (3.2)**. Kondisi ideal ini akan mencukupi kebutuhan air untuk semua user, termasuk juga jumlah tonase biji kopi yang dapat diolah di UPK.

Tabel 4. Perkiraan neraca air bulanan antara kebutuhan dan ketersediaan air

Bulan	Kebutuhan Air (m ³ /bulan)			Total Kebutuhan Air (m ³ /bln)	Total Suplai Air (m ³ /bln)
	UPK	Rumah tangga	Ternak		
Januari	0	4815	1704	6519	190045.5
Februari	0	4815	1704	6519	190045.5
Maret	0	4815	1704	6519	190045.5
April	0	4815	1704	6519	190045.5
Mei	0	4815	1704	6519	39864.9
Juni	0	4815	1704	6519	39864.9
Juli	335	4815	1704	6854	39864.9
Agustus	335	4815	1704	6854	39864.9
September	335	4815	1704	6854	39864.9
Oktober	335	4815	1704	6854	39864.9
November	0	4815	1704	6519	190045.5
Desember	0	4815	1704	6519	190045.5

Optimasi dengan linear programming

Program linear (*Linear Programming*) digunakan untuk memodelkan optimasi pemanfaatan sumberdaya air yang ada, dengan tujuan utama pemanfaatan air untuk mensuplai unit pengolahan kopi. Program linear dibedakan untuk musim kemarau dan musim penghujan, sebagai berikut:

Linear programming untuk musim kemarau

- Ketersediaan air pada musim kemarau adalah 45412 m³/bulan.
- Kebutuhan air untuk: (1) pengolahan kopi = 6,7m³/ton, (2) keperluan penduduk = 0,06 m³/orang, (3) ternak sapi = 0,04 m³/ekor, (4) ternak kambing = 0,0025 m³/ekor. Produksi kopi diasumsikan = 50 ton/bulan. Jumlah penduduk = 2675 orang. Jumlah kepemilikan = 758 ekor. Jumlah

kepemilikan kambing = 2274 ekor. Dalam satu bulan diasumsikan kebutuhan air minimum untuk: 1) pengolahan kopi = 355 m³/bulan, 2) penduduk = 4815 m³/bulan, 3) ternak sapi = 909,6 m³/bulan, 4) ternak kambing = 1705,5 m³/bulan.

- Selanjutnya, model matematika disusun sebagai berikut:

1. Fungsi tujuan :

$$Z_{max} = 6,7 X_1 + 0,06 X_2 + 0,04 X_3 + 0,0025 X_4$$

2. Batasan :

$$6,7X_1 + 0,06 X_2 + 0,04 X_3 + 0,0025X_4 = 45412$$

$$X_1 \geq 355$$

$$X_2 \geq 4815$$

$$X_3 \geq 909,6$$

$$X_4 \geq 1705,5$$

- d. Penyelesaian persamaan tersebut di atas menghasilkan nilai sebagaimana tercantum pada Tabel (3.3), sbb:

Tabel 5. Hasil *linear programming* musim kemarau

	X1	X2	X3	X4		RHS	Dual
Maximize	6,7	0,06	0,04	0,0025			
Constraint 1	6,7	0,06	0,04	0,0025	<=	45412,00	1
Constraint 2	1	0	0	0	>=	355,00	0
Constraint 3	0	1	0	0	>=	4815,00	0
Constraint 4	0	0	1	0	>=	909,60	0
Constraint 5	0	0	0	1	>=	1705,50	0
Solution->	6728,72	4815	909,6	1705,5		45412,00	

Hasil dari optimasi adalah sebagai berikut:

- Ketersediaan air yang optimum untuk pengolahan kopi adalah 6728,72 m³. Jika per Ton kopi yang diolah membutuhkan air sebanyak 6,7 m³, maka jumlah kopi yang dapat diolah menjadi 1004,29 ton.
- Ketersediaan air untuk penduduk sebanyak 4815 m³, sehingga penduduk yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 2675 orang.
- Ketersediaan air untuk ternak sapi adalah 909,6 m³, sehingga ternak sapi yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 758 ekor.
- Ketersediaan air untuk ternak sapi adalah 1705,5 m³ sehingga ternak sapi yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 2274 ekor.

Linearprogramming untuk musim penghujan

- Ketersediaan air pada musim kemarau = 982653 m³/bulan.
- Kebutuhan air untuk: 1) pengolahan kopi = 6,7 m³/ton, 2) keperluan penduduk =

0,06 m³/orang, 3) ternak sapi = 0,04 m³/ekor, 4) ternak kambing = 0,0025 m³/ekor. Produksi kopi diasumsikan = 50 ton/bulan. Jumlah penduduk penduduk = 2675 orang. Jumlah kepemilikan sapi = 758 ekor. Jumlah kepemilikan kambing = 2274 ekor. Dalam satu bulan diasumsikan kebutuhan air minimum untuk: (1) pengolan kopi = 355 m³/bulan, (2) penduduk = 4815 m³/bulan, (3) ternak sapi = 909,6 m³/bulan, (4) ternak kambing = 1705,5 m³/bulan.

c. Model matematika untuk musim kemarau:

1. Fungsi tujuan:

$$Z_{max} = 6,7 X_1 + 0,06 X_2 + 0,04 X_3 + 0,0025 X_4$$

2. Batasan :

$$6,7X_1 + 0,06 X_2 + 0,04 X_3 + 0,0025 X_4 = 982653$$

$$X_1 \geq 355$$

$$X_2 \geq 4815$$

$$X_3 \geq 909,6$$

$$X_4 \geq 1705,5$$

d. Penyelesaian persamaan di atas, menghasilkan nilai sebagaimana tercantum pada tabel (3.4), sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil *linear programming* musim hujan

	X1	X2	X3	X4		RHS	Dual
Maximize	6,7	0,06	0,04	0,0025			
Constraint 1	6,7	0,06	0,04	0,0025	=	982653,00	1
Constraint 2	1	0	0	0	>=	355,00	0
Constraint 3	0	1	0	0	>=	4815,00	0
Constraint 4	0	0	1	0	>=	909,60	0
Constraint 5	0	0	0	1	>=	1705,50	0
Solution->	146615,4	4815	909,6	1705,5		982653,00	

Hasil dari optimasi pada musim hujan adalah sebagai berikut:

- Ketersediaan air yang optimum untuk pengolahan Kopi = 146615,4 m³. Jika per ton kopi yang diolah membutuhkan air sebanyak 6,7m³, jumlah maksimum kopi yang dapat diolah = 21882,9 ton.
- Ketersediaan air untuk penduduk = 4815 m³, sehingga penduduk yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 2675 orang.
- Ketersediaan air untuk ternak sapi = 909,6 m³, sehingga ternak sapi yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 758 ekor.
- Ketersediaan air untuk ternak sapi = 1705,5 m³, sehingga ternak sapi yang dapat menggunakan air tersebut sebanyak 2274 ekor.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Sumberdaya air permukaan yang ada di Desa Sidomulyo cukup potensial untuk mensuplai kebutuhan air bagi tiga pemakai utama, yaitu: (1) untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari penduduk Dusun krajan, (2) untuk mendukung operasional Unit Pengolahan Kopi (UPK), dan (3) kebutuhan air minum ternak. Pengembangan sumberdaya air tersebut dapat dilakukan dengan membangun kembali Bangunan Penangkap Air di Sumber Kalipitu dan menyambungkan dengan jaringan pipa primer yang sudah ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi debit air yang ada di Desa Sidomulyo sangat mencukupi kebutuhan air untuk ketiga jenis pengguna tersebut, tetapi pemanfaatan sumber air yang ada masih belum optimal. Analisis dengan linear programming dapat menunjukkan jumlah optimal air yang dapat dimanfaatkan untuk pengolahan kopi pada musim penghujan dan musim kemarau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh program **Research Grant I-MHERE UNEJ** Tahun Anggaran 2011. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous (2001). *Standar Kualitas Air*. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 . Jakarta.
- Anonimous (2010). *Persyaratan Kualitas Air Minum*. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/Permenkes/IV/2010. Jakarta.
- Effendi H (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta. Kanisius.
- Mahmud A (2009). Optimasi Potensi dan Pola Pemanfaatan Air Irigasi (Studi Kasus Pada Daerah Irigasi Wawotobi Kabupaten Konawe Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Sumberdaya Insani*. Vol. 1(2) Universitas Muhamadiyah Kendari Edisi Januari 2009 No. 15
- Nasendi dan Anwar (2004). *Program Linier dan Variabelnya (ed. revisi)*. Jakarta : PT. Gramedia.
- Rahayu S, Widodo RH, Van Noordwijk M, Suryadi I dan Verbist B (2009). *Monitoring Air Di Daerah Aliran*
- Siringoringo H (2005). *Seri Teknik Riset Operasional: Pemrograman Linear*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Sungai. Bogor, Indonesia. *World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office*. 104 p.

- Wijayanto P (2007). *Paduan Program Aplikasi QM For Windows Versi 2.0*. Fakultas Ekonomi Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Yuwono B (2007). *Paduan Menggunakan Pom For Windows*. Yogyakarta : Jurusan Teknologi Infomatika Fakultas Teknologi Industri UPN Veteran